УДК 631.4:631.8

ВЛИЯНИЕ БИОУГЛЯ НА СТРУКТУРУ ПОЧВЫ И СОДЕРЖАНИЕ ФОРМ КАЛИЯ

КУЛАГИНА Валентина Ивановна, *Институт проблем экологии и недропользования АН РТ*

ГРАЧЕВ Андрей Николаевич, *Казанский национальный исследовательский технологический университет*

ШАГИДУЛЛИН Рифгат Роальдович, *Институт проблем экологии и недропользования АН РТ*

РЯЗАНОВ Станислав Сергеевич, *Институт проблем экологии и недропользования АН РТ*

СУНГАТУЛЛИНА Люция Мансуровна, *Институт проблем экологии и недропользования АН РТ*

ЗАБЕЛКИН Сергей Андреевич, *Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, Казанский национальный исследовательский технологический университет*

КОЛЬЦОВА Татьяна Геннадьевна, *Институт проблем экологии и недропользования АН РТ*

Приведены результаты лабораторного опыта по воздействию биоугля на содержание различных форм калия и структуру серой лесной среднесуглинистой почвы при инкубации в течение 42 дней при оптимальной влажности. Объектом исследования являлся березовый биоуголь, полученный с применением установки быстрого пиролиза из измельченных отходов фанерного производства. Показано, что внесение березового биоугля в почву приводило к увеличению содержания агрегатов оптимального размера по данным сухого просеивания. Лучшие результаты получены при дозе биоугля 10 %. Установлено, что внесение березового биоугля в почву способствует обогащению ее водорастворимой, обменной и резервной формами калия. Валовое содержание калия значимо не изменяется.

Введение. В настоящее время внесение биоугля в почву рассматривается не только как один из путей решения глобальных экологических проблем, но и как способ повышения плодородия сельскохозяйственных земель. Биоуголь – пористый углеродистый продукт, полученный методом пиролиза органической биомассы различного происхождения: древесины, отходов сельскохозяйственного производства, илов сточных вод и других материалов, хотя наиболее известен биоуголь из отходов древесины. Количественные и качественные характеристики биоугля не являются постоянными и зависят от используемого сырья и режима термической обработки [3, 4, 6].

В зарубежной литературе встречаются свидетельства улучшения структуры почв вследствие внесения биоугля, обусловленного влиянием на микробиологическую деятельность и микробный синтез органического вещества [17]. В России влияние биоугля на образование почвенных агрегатов не изучалось.

Считается, что биоуголь способствует удержанию в почве питательных веществ, либо уже находящихся в ней, либо вносимых с удобрениями. В основном это относится к соединениям азота [5, 14]. С самим биоуглем, особенно полученным из отходов древесины, питательных веществ в почву вносится не так много, чаще всего отмечается достоверное увеличение содержания доступного калия [4, 16]. Поэтому целесообразно подробнее изучить поведение именно этого макроэлемента и его соединений при внесении биоугля.

Несмотря на то, что исследования по применению биоугля в земледелии ведутся во многих странах, в настоящее время накоплено недостаточно информации, чтобы дать однозначный ответ о влиянии биоугля на свойства почв, а впоследствии разработать общие рекомендации по дозам внесения биоугля в почвы разных типов [18].

В России исследования проводились в основном на дерново-подзолистых почвах лег-



VISIT…

LANZAROTE Caliente.COM

кого гранулометрического состава [5]. В то же время в Республике Татарстан серые лесные почвы занимают около 39,5 % площади сельхозугодий [2].

Целью данной работы являлось установление в лабораторном опыте влияния внесения различных доз березового биоугля на структуру почвы и содержание различных форм калия в среднесуглинистой серой лесной почве при инкубировании ее в течение 42 дней при оптимальной влажности.

Методика исследований. Объектом исследования являлся биоуголь, полученный с применением установки быстрого пиролиза FPP02, которая является запатентованной разработкой компании ООО «Энерголеспром» [3, 9, 15]. Сырьем для биоугля послужили измельченные березовые отходы фанерного предприятия. Средняя температура в реакторе составляла 500±15 °С. Полученный биоуголь обладает следующими свойствами: влажность – 2,75 %, зольность – 1,44 %, выход летучих веществ – 19,29 %, нелетучий углерод – 77,95 %, высшая теплота сгорания 31601 кДж/кг.

Гранулометрический состав биоугля соответствовал закону нормального распределения с максимальным (79,52 %) содержанием фракции 0,16–0,315 мм. Реакция среды водной вытяжки из угля 5,4.

Почва, в которую вносился биоуголь – серая лесная среднесуглинистая из Верхнеуслонского района Республики Татарстан с содержанием гумуса 4,3 % и реакцией среды солевой вытяжки 5,6. Для опыта использовался пахотный горизонт. Перед опытом почва была высушена, растерта и пропущена сквозь сито с отверстиями 1 мм.

В вегетационные сосуды (горшочки) помещалось по 400 г смеси почвы и биоугля с содержанием биоугля – 2, 5 и 10 %. В качестве контроля использовалась почва без биоугля. Опыт проводился в трех повторностях. Сосуды помещали в вегетационную камеру с контролируемой температурой и освещением. В ходе эксперимента в сосудах поддерживалась оптимальная влажность в 60 % от полной влагоемкости в течение 42 дней для развития микробиологической деятельности. Уголь отдельно от почвы не инкубировался.

По истечении 42 дней инкубации почву высушивали и определяли структурное состояние методом сухого просеивания по методу Н.И. Саввинова [13]. Для оценки структурного состояния почвы применялась шкала, предложенная С.И. Долговым и П.У. Бахтиным [10], а также рассчитывался коэффициент структурности [13].

Содержание различных форм калия определяли методом пламенной фотометрии. Проведено определение 1) водорастворимого калия, 2) обменного по методу Ф.В. Чирикова, 3) резервного, извлекаемого 10%-м HCl и 4) валового, извлекаемого методом спекания почвы с $CaCO_3$ и NH_4Cl [1, 7, 12].

Достоверность разницы определялась по параметрическим и непараметрическим показателям в зависимости от результатов проверки выборки на нормальность.

Коэффициент корреляции рассчитывался при помощи программы Statgrphics Plus 5 с использованием критерия Пирсона.

Результаты исследований. Исследования показали, что внесение березового биоугля положительно повлияло на формирование почвенной структуры. После 42 дней выдерживания образцов при оптимальной влажности и последующего высушивания почвенные агрегаты образовались во всех вариантах опыта, в том числе и на контроле без биоугля, однако количество и качество агрегатов в вариантах опыта отличались.

Условно принято, что оптимальный размер почвенных агрегатов колеблется в пределах от 10 до 0,25 мм [8]. В нашем опыте по данным сухого просеивания худшие результаты наблюдались на контроле (почва без угля), а самые лучшие – при дозе угля 10 % (рис. 1).

Без внесения биоугля (контроль) в среднесуглинистой почве преобладали крупные агрегаты – больше 10 мм диаметром (см. рис. 1). Количество комковато-зернистых агрегатов размером от 0,25 до 10 мм диаметром составляло всего 17,8 %, что соответствует неудовлетворительному структурному состоянию почв по шкале, предложенной С.И. Долговым и П.У. Бахтиным [10].

При внесении в почву биоугля содержание агрегатов оптимального размера увеличивалось, а содержание агрегатов крупнее 10 мм уменьшалось, пропорционально дозе вносимого биоугля. Коэффициенты корреляции соответственно 0,97 (p = 0,026) и -0,98 (p = 0,019). При дозе биоугля 2 % содержание агрегатов размером от 0,25 до 10 мм увеличилось незначительно и от контроля достоверно не отличалось. При внесении 5 % биоугля их содержание составило уже 56,5 %, что соответствует удовлетворительному структурному состоянию, а при дозе 10 % биоугля доля агрегатов оптимального



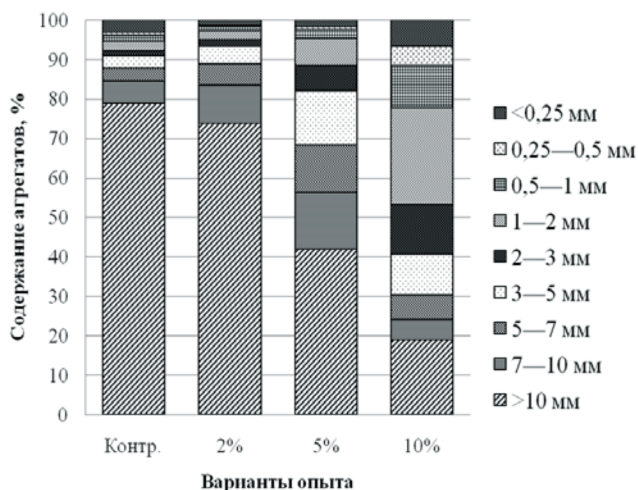


Рис. 1 Влияние биоугля на структуру и содержание форм калия

размера составляла 74,4 %, что соответствует хорошему состоянию (см. рис. 1). Разница по содержанию агрегатов оптимального размера между контролем и вариантами с 5 % и 10 % угля достоверна.

Согласно рассчитанному коэффициенту структурности агрегатное состояние почвы на 42-й день опыта без угля и при использовании дозы биоугля 2 % является неудовлетворительным (коэффициент 0,22 и 0,33 соответственно). При внесении 5 % и 10 % биоугля в серую лесную почву агрегатное состояние становится хорошим и отличным (коэффициент структурности 1,29 и 2,90 соответственно).

Древесный биоуголь, в том числе использованный в опыте березовый биоуголь, отличается небольшой зольностью по сравнению с полученным из других видов сырья. Тем не менее проведенные исследования показали, что содержание водорастворимого калия в березовом биоугле примерно в 2 раза больше, чем в почве (контроль) после ее инкубации в течение 42 дней при оптимальной влажности (рис. 2).

С увеличением дозы вносимого биоугля содержание самого доступного растениям водорастворимого калия в почве увеличивается (см. рис. 2). Коэффициент корреляции между этими показателями составляет 0,99 (p = 0,002), что говорит об очень тесной прямой зависимости.

Обменный калий после водорастворимой формы является ближайшим источником калийного питания растений. Он представлен ионами калия, адсорбционно связанными с почвенными коллоидами. Легкая доступность растениям этой формы обусловливается тем, что некоторая часть адсорбированного коллоидами калия переходит в почвенный раствор

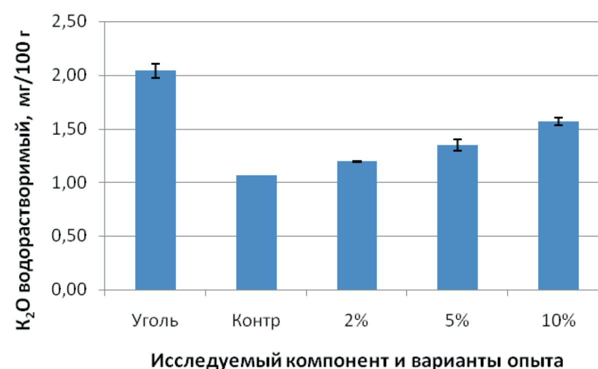


Рис. 2. Содержание водорастворимого калия

при обмене на другие катионы. Содержание обменного калия в серых лесных почвах колеблется обычно от 5 до 25 мг/100 г [12]. В использованной нами для проведения опыта почве содержание обменного калия соответствует литературным данным (рис. 3) и по агрохимической группировке почв относится к градации «повышенное» [11].

В составе биоугля обменный калий также присутствует и в достаточно большом количестве (рис. 3). При внесении биоугля в почву содержание обменного калия возрастало по сравнению с контролем пропорционально вносимой дозе (см. рис. 3). Коэффициент корреляции по Пирсону между содержанием обменного калия и дозой вносимого биоугля составляет 0,99 (р = 0,003), что говорит о тесной прямой зависимости.

Увеличение содержания обменного калия в изученной нами серой лесной почве не так значительно, как указано в ранее опубликованных работах для дерново-подзолистых почв, но в целом соответствует литературным данным [4, 16]. При внесении в почву 2 % биоугля содержание обменного калия возросло только на 9 %, при внесении 5 % биоугля – на 19,8 %. При дозе 10 % биоугля содержание обменного калия возросло на 37,5 % по сравнению с контролем и по агрохимической шкале стало относиться к высокому содержанию [11].



Рис. 3. Содержание обменного калия



Без применения удобрений возобновление запасов обменного калия зависит от источников калия в почве. Ближайшим резервом для пополнения обменного калия являются слюды и глинистые минералы, а также фиксированный калий почвы. Все они входят в труднодоступную или резервную форму калия, определение содержания которой в почве, наряду с обменной формой, имеет большое значение.

В биоугле резервный калий входит в состав других труднорастворимых соединений, но извлекается тем же растворителем.

При добавлении биоугля к почве наблюдается последовательный рост содержания резервного калия с увеличением дозы вносимого продукта (рис. 4).

При внесении 2 % биоугля содержание резервного калия в почве возросло по сравнению с контролем на 5,7 %, при внесении 5 % биоугля – на 9,3 %, при добавлении 10 % биоугля – на 10,8 %. Таким образом, рост содержания резервного калия при внесении биоугля выражен гораздо слабее, чем для двух предыдущих форм, что является вполне закономерным результатом, поскольку содержание резервного калия в биоугле меньше отличается от содержание его в почве, чем двух первых форм.

Общее (валовое) содержание калия в почве определяется в основном минералогическим составом, наличием калийсодержащих минералов: слюд, гидрослюд, полевых шпатов и др. Наибольшее же количество калия сосредоточено в алюмосиликатах (полевой шпат, микроклин и др.), калий которых почти не усваивается растениями. Калий органической части почвы составляет небольшую величину [12].

Биоуголь, состоящий в основном из ароматических органических веществ, содержит примерно в три раза меньше валового калия, чем серая лесная среднесуглинистая почва (рис. 5).

При внесении биоугля в почву содержание валового калия по сравнению с контролем достоверно не изменяется.

Заключение. Внесение биоугля в среднесуглинистую серую лесную почву способствует образованию агрегатов оптимального размера. Биоуголь можно рекомендовать для улучшения структурного состояния тяжелых бесструктурных почв. Результаты 42-дневного эксперимента показывают, что доза биоугля должна составлять не менее 5 % от веса пахотного горизонта. Долговременные последствия внесения биоугля на почвенные свойства требуют дальнейшего изучения.

Березовый биоуголь при внесении в почву обогащает ее наиболее доступными растениям формами калия (водорастворимой и обменной), а также увеличивает содержание резервного калия. Общее содержание калия в почве при внесении биоугля существенно не изменяется.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аринушкина Е.В.* Руководство по химическому анализу почв. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1962. – 491 с.
2. Атлас Республики Татарстан. – М.: ПКО «Картография», 2005. – 211 с.
3. *Буренков С.В., Грачев А.Н., Забелкин С.А.* Термическая утилизация иловых осадков сточных вод методом быстрого пиролиза в сеточном реакторе // Вестник технологического университета. – 2016. – Т. 19. – № 22. – С. 40–43.
4. Влияние биоугля на рост растений, микробиологические и физико-химические показатели мало гумусированной почвы в условиях вегетационного опыта / Б.Р. Григорьян [и др.] // Вестник технологического университета. – 2016. – Т. 19. – № 11. – С. 185–189.
5. Влияние биоугля на свойства образцов дерново-подзолистой супесчаной почвы с разной степенью окультуренности (лабораторный эксперимент) / Е.Я. Рижия [и др.] // Почвоведение. – 2015. – № 2. – С. 211–220.
6. Влияние способов освоения залежных земель на агрофизические показатели плодородия чернозема оподзоленного / Д.В. Бочкарев [и др.] // Аграрный научный журнал. – 2017. – № 11. – С. 6–10.
7. *Воробьева Л.А.* Химический анализ почв. –

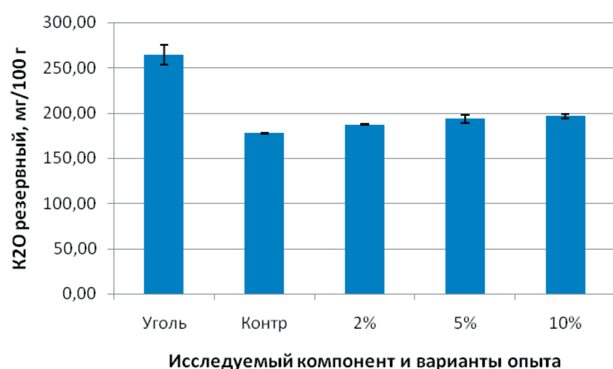


Рис. 4. Содержание резервного калия

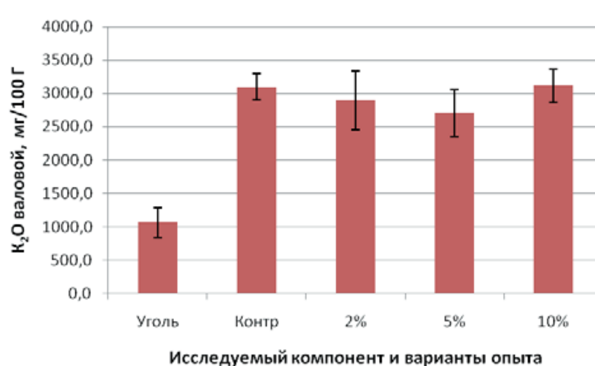


Рис. 5. Содержание валового калия



М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998. – 272 с.

8. *Воронин А.Д.* Основы физики почв. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1986. – 244 с.

9. *Грачев А.Н., Башкиров В.Н., Забелкин С.А., Макаров А.А., Тунцев Д.В., Хисматов Р.Г.* Способ термической переработки органосодержащего сырья. Патент РФ №2395559. 2009. – Режим доступа: freepatent.ru:patents/2395559.

10. *Долгов С.И., Бахтин П.У.* Агрофизические методы исследования почв. – М.: Колос, 1966. – 156 с.

11. *Евдокимова Т. И.* Почвенная съемка. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1987. – 269 с.

12. Калий в почвах Волжско-Камской лесостепи / под ред. А.В. Колосковой. – Казань: Изд-во Казанского университета, 1985. – 119 с.

13. *Корчагин А.А., Мазиров М.А., Шушкевич Н.И.* Физика почв: лабораторный практикум. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2011. – 99 с.

14. *Мухина И.П.* Влияние карбонизированной биомассы на параметры плодородия дерново-подзолистых почв и эмиссию парниковых газов: дис. ... канд. биол. наук. – СПб., 2017. – 187 с.

15. *Грачев А.Н., Макаров А.А., Забелкин С.А., Башкиров В.Н.* Термохимическая переработка лигноцеллюлозного сырья в биотопливо и химические продукты // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – Т. 16. – №21. – С. 109–111.

16. Характеристики дерново-подзолистых почв после внесения биоугля / Г.А. Соколик [и др.] // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя хімічных навук. – 2015. – № 2. – С. 8–94.

17. Effects of biochar amendment on soil aggregates and hydraulic properties / L. Ouyang et al. // Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 2013, № 13 (4), P. 991–1002.

18. *Major J.* (2010). Guidelines on Practical Aspects of Biochar Application to Field Soil in Various Soil Management Systems. – URL: link.springer.com.

Кулагина Валентина Ивановна, *канд. биол. наук, зав. лабораторией экологии почв, Институт проблем экологии и недропользования АН РТ. Россия.*

420087, г. Казань, ул. Даурская, 28.

Тел.: (8843) 298-26-10.

Грачев Андрей Николаевич, *д-р техн. наук, проф. кафедры «Химическая технология древесины», Казанский национальный исследовательский технологический университет. Россия.*

420087, г. Казань, ул. К. Маркса, 68.

Тел.: (8843) 231-42-16.

Шагидуллин Рифгат Роальдович, *д-р хим. наук, чл.-корр. АН РТ, директор, Институт проблем экологии и недропользования АН РТ. Россия.*

Рязанов Станислав Сергеевич, *научный сотрудник лаборатории экологии почв, Институт проблем экологии и недропользования АН РТ. Россия.*

Сунгатуллина Люция Мансуровна, *старший научный сотрудник, Институт проблем экологии и недропользования АН РТ. Россия.*

Забелкин Сергей Андреевич, *канд. техн. наук, доцент кафедры «Химическая технология древесины», Казанский национальный исследовательский технологический университет, старший научный сотрудник, Институт проблем экологии и недропользования АН РТ. Россия.*

Кольцова Татьяна Геннадьевна, *канд. биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории экологии почв, Институт проблем экологии и недропользования АН РТ. Россия*

420087, г. Казань, ул. Даурская, 28.

Тел.: (8843) 298-26-10.

***Ключевые слова**: древесный уголь; биоуголь; структура почв; доступный калий; инкубация; серая лесная почва.*

INFLUENCE OF BIOCHAR ON THE SOIL STRUCTURE AND THE CONTENT OF POTASSIUM FORMS

Kulagina Valentina Ivanovna, *Candidate of Biological Sciences, Head of Laboratory of Soil Ecology, Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences. Russia.*

Grachev Andrey Nikolaevihc, *Doctor of Technical Sciences, Professor of the chair "Chemi-cal Technology of Wood", Kazan National Research Technological University. Russia.*

Shagidullin Rifgat Roaldovich, *Doctor of Chemical Sciences, Director of Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences. Rus-sia.*

Ryazanov Stanislav Sergeevich, *Researcher of Laboratory of Soil Ecology, Research Insti-tute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences. Russia.*

Sungatullina Lutsia Mansurovna, *Senior Researcher of Laboratory of Soil Ecology, Re-search Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences. Russia.*

Zabelkin Sergey Andreevich, *Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the department of chemical technology of wood, Kazan National Research Technological Uni-versity, Senior Researcher of Laboratory of Soil Ecology, Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences. Russia.*

Koltsova Tatyana Gennadevna, *Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher of La-boratory of Soil Ecology, Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences. Russia.*

***Keywords:** biochar; soil structure; available potassium; incubation; gray forest soil.*

The results of the laboratory experiment on the effect of biochar on the content of various forms of potassium and the structure of gray forest medium-loamy soil during incubation for 42 days at optimum humidity are presented. The object of the study was a birch biochar obtained with the use of a fast pyrolysis plant from crushed waste plywood production. It was shown that the introduction of birch biochar into the soil resulted in the increase in the content of aggregates of the optimal size according to dry sieving measures. The best results were obtained with the biochar dose of 10%. Introduction of birch biochar into the soil re-sulted in the enrichment of its water-soluble, exchangeable and reserve potassium forms. The total content of potassium did not change.

